

ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК: 551.248.2(571.65)

НАПРЯЖЕННЫЕ СОСТОЯНИЯ НАГАЕВСКОГО АКТИВНОГО РАЗЛОМА (Северное Приохотье)

Крылов И. А.^{1D}, Смирнов В. Н

ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт
им. Н. А. Шило ДВО РАН, г. Магадан
E-mail: vagrant99@yandex.ru

Получены новые данные о поле тектонических напряжений в активном разломе, проходящем вдоль северного берега бух. Нагаева. Установлено, что поле напряжений, в котором происходило формирование трещинной структуры разлома, относится к сдвиговому типу, но отмечается и наличие сбросовой компоненты. Ось сжатия имеет северо-восточную ориентировку (азимут – 50°, угол погружения – 12°), в то время как ось растяжения ориентирована на северо-запад (азимут – 133°, угол погружения – 29°). Исходя из полученных результатов кинематика Нагаевского разлома может быть определена как сбросо-сдвиг.

Ключевые слова: активный разлом, сброс, сдвиг, тектоническая трещиноватость, поле тектонических напряжений.

DOI: 10.34078/1814-0998-2024-3-3-7

ВВЕДЕНИЕ

Нагаевским активным разломом образован северный береговой уступ одноименной бухты. Разлом имеет широтное простирание и протягивается на 45 км от мыса Островного на западе до р. Ола – на востоке (рис. 1). Активность разлома отчетливо проявлена в его западном сегменте, где он сопровождается мощной зоной катаклаза и будинажа гранодиоритов Магаданского интрузивного массива. Тектониты представлены круглыми, эллипсоидальными, линзовидными «валунами», заключенными в раздробленном субстрате гранодиоритового состава, и сопровождаются интенсивной трещиноватостью. В зоне тектонитов, достигающей ширины в десятки метров, часто наблюдаются плоскости разрывов субширотного простирания, имеющие пологое падение на юг и сопровождающиеся зеркалами скольжения. С разломом также связаны линейно ориентированные тектонические трещины и уступы, береговые обрывы, а также структуры гравитационного отседания склонов (Смирнов и др., 2000, 2003).

Изучение тектонических напряжений в зоне Нагаевского активного разлома имеет большое значение для последующего определения уровня сейсмической опасности в черте г. Магадан и уточнения карты общего сейсмического районирования России (ОСР-97).



Рис. 1. Местоположение исследованного объекта: 1 – низменности и ограничивающий их неотектонический разлом; 2 – Нагаевский активный разлом и положение его исследованной части.

Fig. 1. Location of the studied object: 1 – lowlands and the neotectonic fault on their margins; 2 – Nagayev Bay active fault and the position of its studied part.

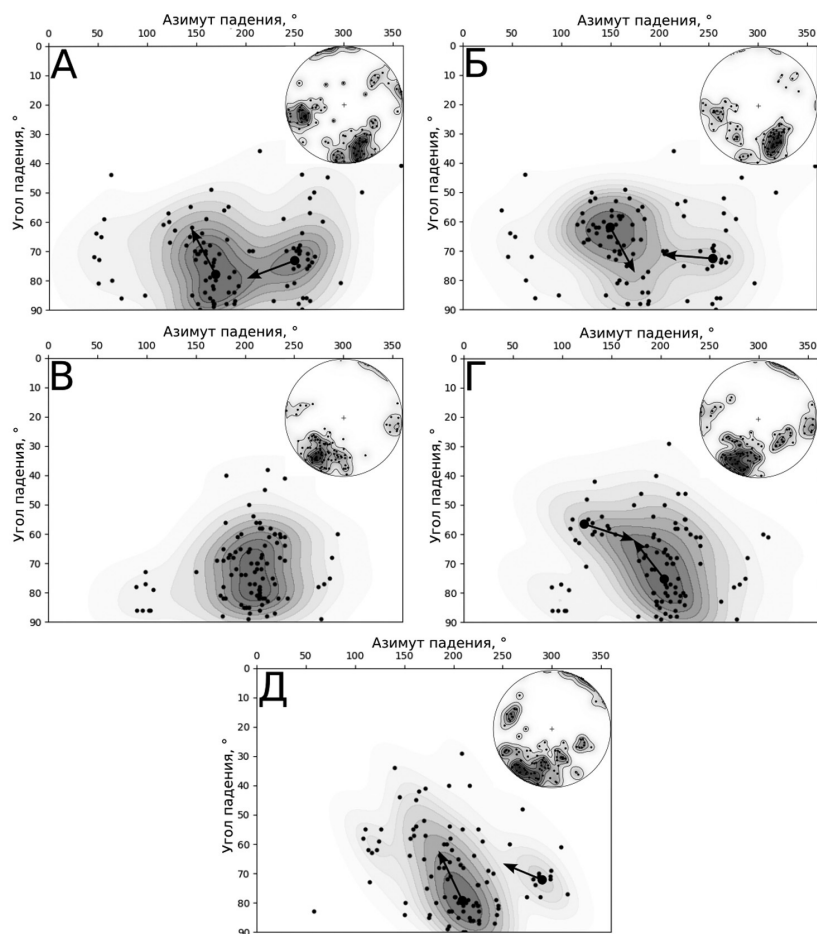


Рис. 2 – А, Б, В, Г, Д: диаграммы плотности тектонической трещиноватости (для пунктов наблюдений 1, 2, 3, 4 и 5 соответственно). Точками отмечены результаты измерений трещин, стрелками – направления преимущественных разбросов в распределении положения трещин. Изолинии проведены через каждые 10 %.

Fig. 2 – А, Б, В, Г, Д: diagrams of tectonic fracturing density (for observation points 1, 2, 3, 4, and 5, respectively). Dots indicate the results of crack measurements; arrows, the directions of predominant deviations in the distribution of crack positions. Contour lines are drawn every 10 %.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Несмотря на то что в предыдущих работах установлено наличие зеркал скольжения в пределах Нагаевского активного разлома, в настоящем исследовании при полевом изучении на исследуемом участке этих структур обнаружено не было.

Для реконструкции напряженного состояния был использован метод тектоно-динамического анализа сколовых разрывов и трещин. Сущность метода заключается в статистическом анализе разрывных нарушений в горных породах, выявлении сопряженных систем пар трещин и, с учетом известных закономерностей формирования трещиноватости, определении ориентации главных направлений деформации (Николаев, 1977, 1982; Ребецкий и др., 2017).

В ходе определения напряженных состояний в зоне активного разлома были выполнены массовые замеры тектонической трещиноватости, результаты измерений приведены в таблице 1.

На основании полученных данных с целью выявления сопряженных систем разрывов были построены диаграммы плотности трещиноватости (рис. 2). Сопряженность трещин определялась по наличию асим-

Таблица 1. Данные массовых замеров тектонической трещиноватости

Table 1. Data from mass measurements of tectonic fracturing

№ п/п	Т. н. 1		Т. н. 2		Т. н. 3		Т. н. 4		Т. н. 5	
	Аз. пад.	∠пад.	Аз. пад.	∠пад.	Аз. пад.	∠пад.	Аз. пад.	∠пад.	Аз. пад.	∠пад.
1	160	59	172	61	90	86	162	54	184	51
2	167	88	184	59	89	78	155	64	196	47
3	263	37	173	66	104	86	159	55	187	41
4	128	63	169	52	196	84	213	80	190	48
5	48	64	277	59	795	87	156	58	195	52
6	123	67	155	61	96	86	58	83	188	36
7	46	72	166	81	277	89	160	57	260	85
8	139	68	157	81	210	77	196	54	283	69
9	63	44	70	72	186	74	245	81	287	65
10	159	71	155	53	178	65	224	74	279	62
11	241	70	224	58	178	69	226	86	285	70
12	145	85	267	63	215	56	171	57	198	51
13	53	65	162	58	216	68	226	87	246	88
14	121	57	160	71	274	78	173	75	162	34
15	358	41	147	63	217	58	170	65	252	87
16	182	55	148	72	280	77	210	90	285	67
17	97	85	155	73	286	75	212	90	233	64
18	318	50	158	58	288	68	215	79	201	56
19	248	76	151	58	205	87	217	86	238	79
20	255	68	150	65	215	78	216	40	165	47
21	122	60	154	70	215	80	220	86	183	45

Окончание таблицы

№ п/п	Т. н. 1		Т. н. 2		Т. н. 3		Т. н. 4		Т. н. 5	
	Аз. пад.	∠пад.	Аз. пад.	∠пад.	Аз. пад.	∠пад.	Аз. пад.	∠пад.	Аз. пад.	∠пад.
22	116	61	262	74	183	68	205	85	244	75
23	296	81	159	58	177	88	176	84	187	75
24	283	45	226	53	102	86	270	48	174	53
25	265	57	135	62	99	77	175	85	276	74
26	267	74	143	60	205	77	257	60	198	76
27	270	72	138	62	203	66	216	85	122	62
28	181	66	136	64	107	79	151	80	200	61
29	182	84	148	65	212	70	182	80	205	77
30	178	56	126	66	204	50	224	81	271	86
31	165	49	218	54	203	66	225	74	262	82
32	64	80	128	66	215	58	150	84	251	80
33	73	86	39	56	192	61	243	79	205	63
34	157	67	151	56	236	61	242	87	220	58
35	159	70	134	52	240	64	234	73	215	60
36	163	68	131	50	218	75	210	81	230	85
37	265	52	205	71	215	86	197	71	256	88
38	173	71	129	53	240	61	209	55	161	48
39	188	77	132	61	230	60	191	78	183	68
40	207	70	224	75	226	58	201	78	105	75
41	214	36	261	66	199	85	198	83	108	75
42	203	70	161	79	206	70	210	83	166	51
43	188	84	161	72	191	72	202	78	247	53
44	253	88	163	66	184	67	194	89	230	40
45	258	86	230	66	213	70	140	34	235	61
46	183	79	116	48	212	81	210	68	224	34
47	257	90	148	51	99	73	198	62	188	50
48	188	88	198	88	204	85	205	80	288	81
49	189	87	189	80	205	65	223	80	111	80
50	228	87	213	68	220	45	195	83	230	42
51	166	75	159	70	181	40	196	83	235	75
52	153	90	171	71	217	58	207	67	177	57
53	168	88	271	41	294	60	126	55	167	46
54	159	80	200	86	218	82	205	65	238	81
55	253	75	197	84	220	82	208	29	185	55
56	255	70	37	67	235	60	225	81	211	70
57	180	88	216	66	211	56	220	81	130	44
58	261	86	214	65	224	61	108	58	126	40
59	263	73	163	65	222	70	186	64	237	87
60	167	83	162	73	208	54	194	72	138	46
61	158	84	216	70	223	38	193	60	230	77
62	253	75	273	87	216	72	195	88	245	78
63	167	89	169	77	240	69	225	55	155	39
64	166	87	181	88	230	60	113	62	250	85
65	257	64	271	84	232	63	196	66	247	76
66	251	70	183	84	210	73	110	55	158	40
67	159	74	192	84	215	81	117	63	200	55
68	151	88	193	86	213	81	195	40	169	56
69	192	82	87	84	214	82	240	70	238	87
70	264	75	31	77	195	65	309	61	222	66
71	265	87	184	76	201	85	225	46	229	59
72	168	73	78	90	212	72	304	60	221	64
73	254	71	193	82	180	56	224	55	115	73
74	145	62	158	63	196	74	192	80	122	62
75	154	70	58	55	206	80	261	83	145	44
76	155	64	173	80	240	41	180	46	244	84
77	148	70	178	79	230	87	193	80	245	82
78	50	81	208	72	235	68	173	50	165	42
79	149	73	206	72	215	79	192	54	274	78
80	242	82	118	64	217	84	201	83	170	52
81	278	60	193	88	234	82	200	89	171	41
82	163	86	164	84	243	82	216	88	235	69
83	166	82	156	66	175	81	224	84	162	45
84	169	80	195	62	178	82	210	83	298	71
85	263	71	263	68	200	74	219	83	226	83
86	262	76	183	90	188	68	206	78	281	72
87	144	55	203	74	196	60	124	71	290	73
88	150	71	243	86	190	66	210	88	190	60
89	51	73	168	75	220	64	131	60	288	78
90	143	65	198	65	230	77	154	60	287	70
91	56	59	197	70	223	83	133	59	283	74
92	248	69	188	82	222	88	207	81	298	72
93	249	81	198	73	217	67	147	58	197	58
94	269	50	165	81	214	79	140	60	185	68
95	257	44	185	77	228	75	146	57	287	71
96	238	59	168	61	150	73	218	46	190	68
97	163	79	260	89	203	89	133	42	177	71
98	167	74	173	60	180	82	131	56	124	59
99	152	71	268	85	178	78	140	54	299	69
100	253	69	192	78	171	69	125	48	316	77

Примечание: Т. н. – точка наблюдения; аз. пад. – азимут падения трещины; ∠пад. – угол падения трещины.

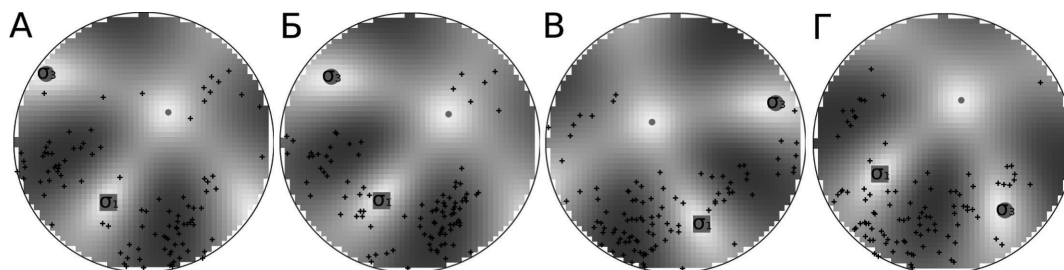


Рис. 3 – А, Б, В, Г: стереограммы тектонической трещиноватости с положением осей главных действующих напряжений для пунктов наблюдения 1, 2, 4 и 5. Верхняя полусфера.

Fig. 3 – А, Б, В, Г: stereograms of tectonic fracturing density with the locations of the main active stress axes for observation points 1, 2, 4, and 5. Upper hemisphere.

метричного разброса в преимущественной ориентировке трещинных систем.

В ходе анализа полученных результатов по выявленным сопряженным максимумам касательных напряжений были восстановлены положения осей главных действующих напряжений (рис. 3).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для пунктов наблюдений 1, 2, 4 и 5 выявлены сопряженные максимумы касательных напряжений (рис. 2, А, Б, Г, Д) и восстановлены положения осей главных действующих напряжений (рис. 3).

В пунктах 1, 2 и 5 наблюдаются общие черты в характеристиках сопряженных систем: величина острого угла между сопряженными максима-

ми составляет примерно 80° , а пространственное положение выделенных пар имеет небольшие отклонения в пределах 30° с сохранением общей направленности азимутальных ориентировок на юг и запад. В пункте 4 выделенная сопряженная система имеет значительно меньшую величину острого угла между парами – 63° и практически противоположную ориентировку одного максимума из системы.

Для пункта наблюдения 3 определить сопряженную систему трещин не удалось, т. к. скорее всего образование этой системы трещиноватости не связано с тектонической активизацией разлома.

По выявленному положению осей главных действующих напряжений все изученные сопряженные системы в пределах исследуемого участка могут быть отнесены к сколовым трещинам. Они являются наиболее распространенными

в условиях преобладающих сжимающих напряжений или при горизонтальном смещении тектонических блоков, которое происходит в обстановках горизонтального сдвига.

На полученных диаграммах (рис. 3) устанавливается, что ось главного максимального действующего растяжения изменяет свое положение в пределах от 121 до 152 , с углом погружения, изменяющимся от 32 до 38 . Среди изученных пунктов выделяется точка наблюдения 4: на этом участке ориентация оси растяжения приобретает южное направление (азимут – 196) и очень пологое падение (угол падения – 20).

Установленное взаимное положение осей главных действующих напряжений позволяет сделать вывод о том, что в пределах изучаемого района преобладает сдвиговое поле

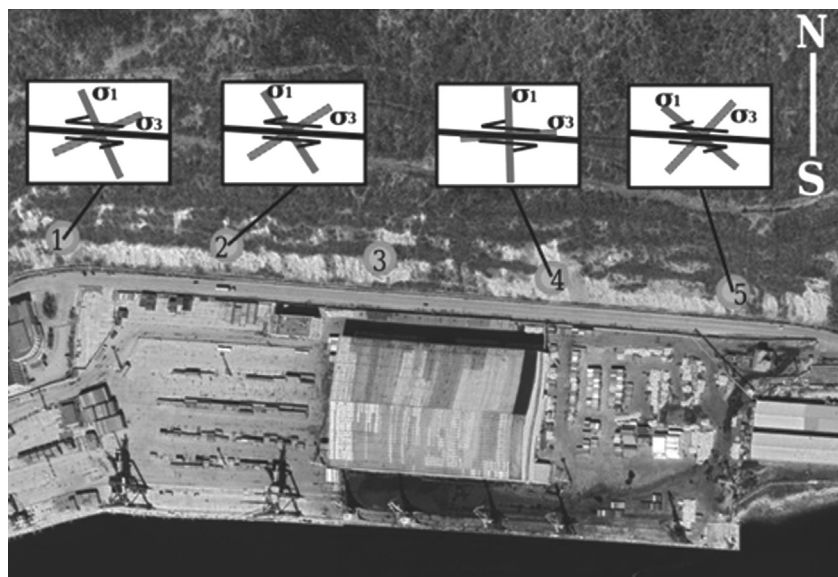


Рис. 4. Реконструкция тектонических напряжений вдоль Нагаевского активного разлома (Северное Приохотье). σ_1 – ось растяжения, σ_3 – ось сжатия, стрелками указаны направления смещения вдоль плоскости разлома, круги – точки наблюдений и их номера.

Fig. 4. Reconstruction of tectonic stresses along the Nagayev Bay active fault (Northern Priokhotye). σ_1 – extension axis, σ_3 – compression axis; arrows indicate the directions of displacement along the fault plane; circles, observation points and their numbers.

напряжений, однако предыдущими исследованиями отмечалось и наличие локальных сбросов (Смирнов и др., 2023). Установленные ранее сбросы, проявленные в пределах Нагаевского активного разлома, не противоречат преобладанию сдвиговой кинематики и могут формироваться в условиях сдвиговых деформаций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для реконструкции тектонических напряжений в пределах изучаемого разлома полученные данные о положении осей вынесены на схему, составленную на основе космоснимка (рис. 4).

Полученные данные об ориентировках главных осей тектонических напряжений, проявленных в пределах разлома, позволяют классифицировать его трещинную структуру как преимущественно сдвиговую. Ось растяжения имеет северо-западную ориентировку с пологим погружением на юго-восток. Однако, как отмечалось ранее, в пределах исследуемого района отмечается наличие и сбросовой кинематики.

Таким образом, установленные ориентация осей главных нормальных напряжений, сово-

купность стресс-тензоров и геологические наблюдения предшествующих работ в изученной зоне Нагаевского активного разлома позволяют охарактеризовать кинематику этого разлома как сбросо-сдвиг, что не противоречит полученным ранее геологическим данным об установленных полевыми наблюдениями локальных сбросах и сдвигах в зоне влияния этого разлома.

ЛИТЕРАТУРА

Николаев П. Н. Методика статистического анализа трещин и реконструкция полей напряжений // Известия вузов. Геология и разведка. 1977. № 12. С. 103–115.

Николаев П. Н. Методика тектоно-динамического анализа. Москва: Недра, 1982. 295 с.

Ребецкий Ю. Л., Сим Л. А., Маринин А. В. От зеркал скольжения к тектоническим напряжениям. Методы и алгоритмы / Отв. ред. Ю. Г. Леонов. Москва: ГЕОС, 2017. 234 с.

Смирнов В. Н., Глушкова О. Ю., Пахомов А. Ю. Оползневые процессы в зоне Нагаевского активного разлома (район г. Магадана) // Геоморфология на рубеже XXI века. IV Щукинские чтения. Москва: МГУ, 2000. С. 88–92.

Смирнов В. Н., Горячев Н. А., Глушкова О. Ю., Пахомов А. Ю. Морфодинамика склонов и берегов бухты Нагаева (Охотское море) // Геоморфология и палеогеография. 2023. Т. 54. № 2. С. 26–35.

Поступила в редакцию 03.06.2024.

Поступила после доработки 02.09.2024.

STRESS STATES OF THE NAGAYEV BAY ACTIVE FAULT (Northern Priokhotye)

I. A. Krylov, V. N. Smirnov

North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute n. a. N. A. Shilo, FEB RAS, Magadan

New data on the tectonic stress field in the active fault running along the northern shore of Nagayev Bay have been obtained. It has been established that the stress field responsible for the formation of the fault fissure structure belongs to the shear type, but the presence of the normal fault component is also noted. The compression axis has a northeast orientation (azimuth 50°, dip angle 12°), while the extension axis is oriented to the northwest (azimuth 133°, dip angle 29°). Based on the obtained results, the kinematics of the Nagayev Bay fault can be defined as a strike-slip fault.

Keywords: active fault, fault, shear, tectonic fracturing, stress field.

REFERENCES

Nikolayev, P. N., 1977. Methodology of Fracture Statistical Analysis and Stress Field Reconstruction, *Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration*. 12, 103–115 [In Russian].

Nikolayev, P. N., 1982. Methodology of Tectonic-Dynamic Analysis. Moscow, Nedra [In Russian].

Rebetsky, Yu. L., Sim, L. A., Marinin, A. V., 2017. From Sliding Mirrors to Tectonic Stresses. Methods and Algorithms. Ed. Yu. G. Leonov. Moscow, GEOS [In Russian].

Smirnov, V. N., Glushkova, O. Yu., Pakhomov, A. Yu., 2000. Landslide Processes in the Nagayev Bay Active Fault Zone (Magadan Oblast), *Geomorphology at the Turn of the 21st Century. 44th Shchukin Readings*. Moscow, Moscow State University, 88–92 [In Russian].

Smirnov, V. N., Goryachev, N. A., Glushkova, O. Yu., Pakhomov, A. Yu., 2023. Morphodynamics of Slopes and Shores of Nagayev Bay (Sea of Okhotsk), *Geomorfologiya i Paleogeografiya*. 54 (2), 26–35 [In Russian].